

LA SURCOTE ET LA SUBMERSION ASSOCIÉES À LA TEMPÊTE XYNTHIA.

Xavier BERTIN

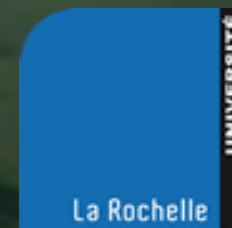
UMR 6250 LIENSs CNRS-Université de La Rochelle

Institut du Littoral et de l'Environnement

2 rue Olympe de Gouges

17000 La Rochelle

E-mail: xbertin@univ-lr.fr



Le projet « Submersion Marine » à l'UMR 7266 LIENSs

Modélisation numérique

Mesures hydrodynamiques

MNT Terre-mer

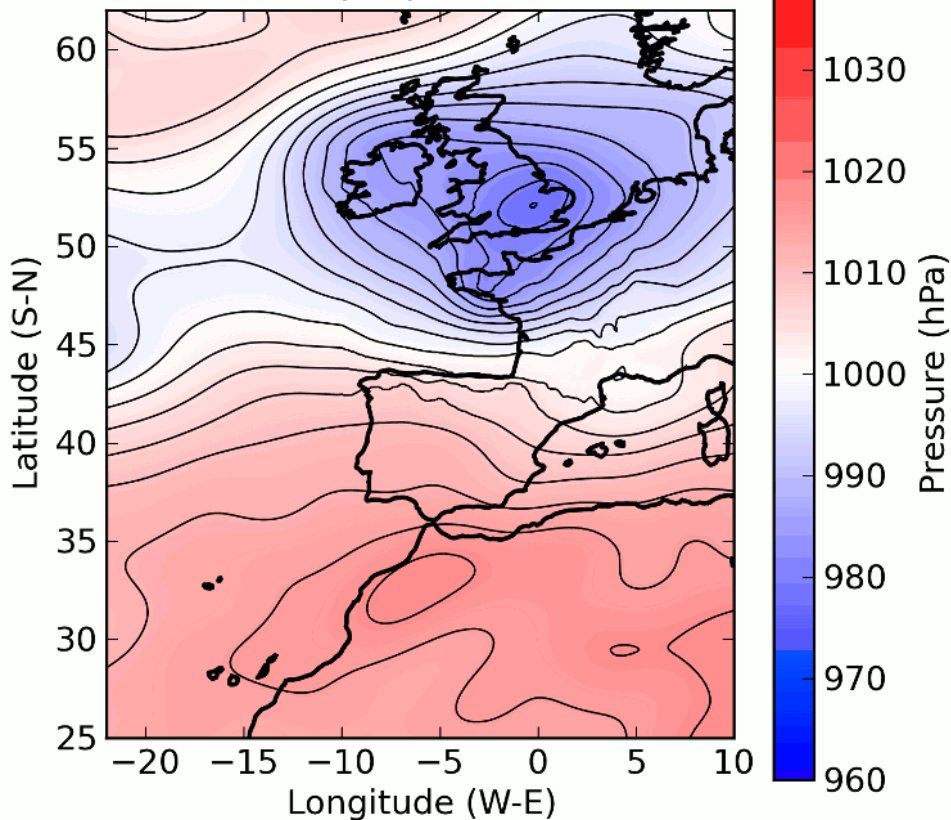


An aerial photograph showing a coastal town, likely in Louisiana, that has been severely flooded. The water is a murky greenish-brown color, inundating the residential areas. A narrow strip of land or road runs along the left side of the town, separating it from the open sea. The text 'La Tempête Xynthia: rappel des faits' is overlaid in a white box with a black border at the top of the image.

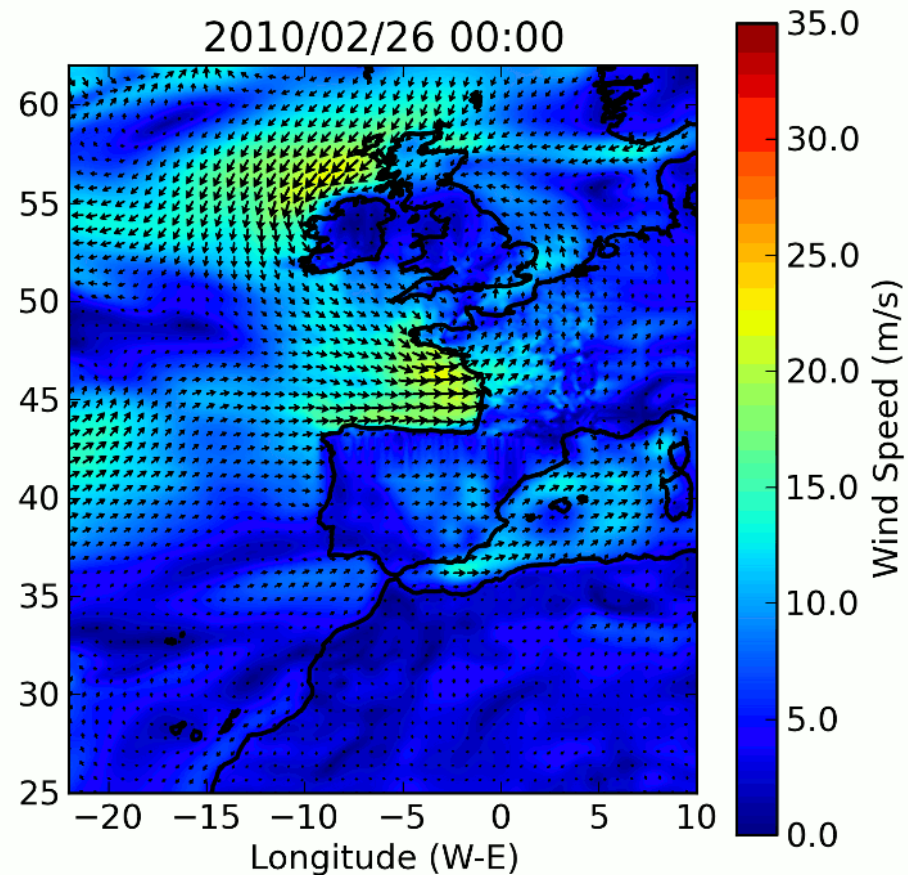
La Tempête Xynthia: rappel des faits

La tempête Xynthia

2010/02/26 00:00



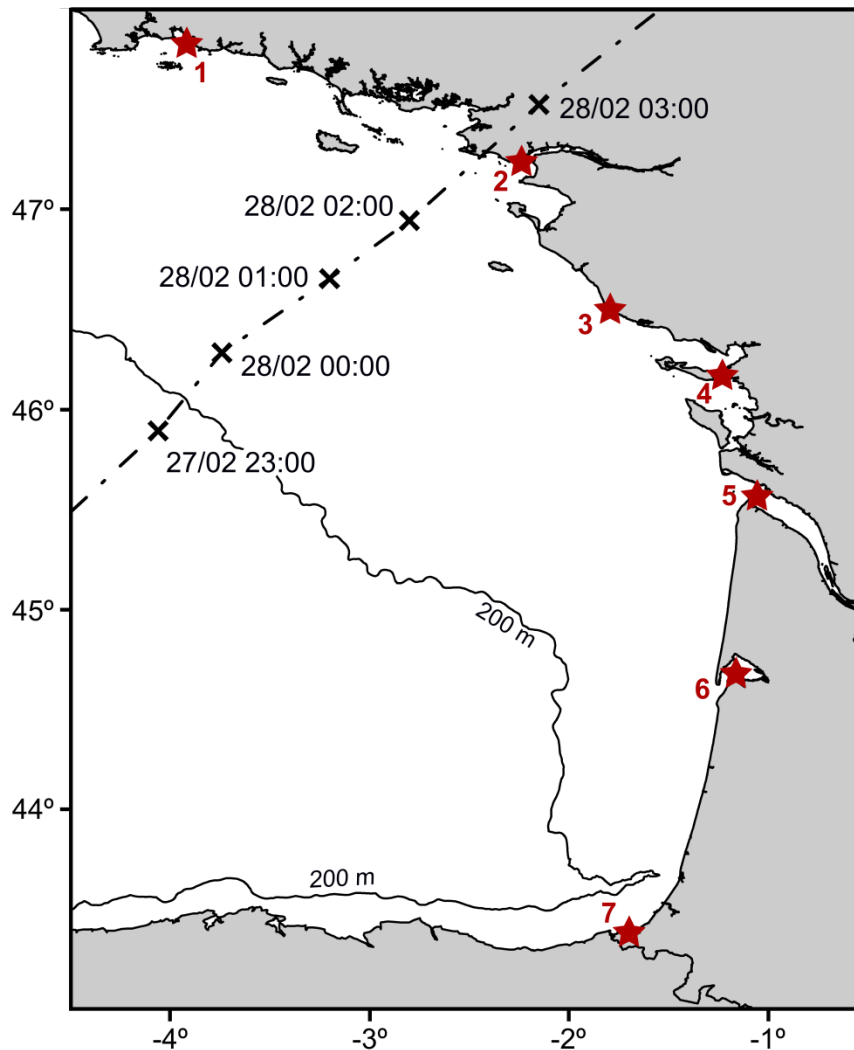
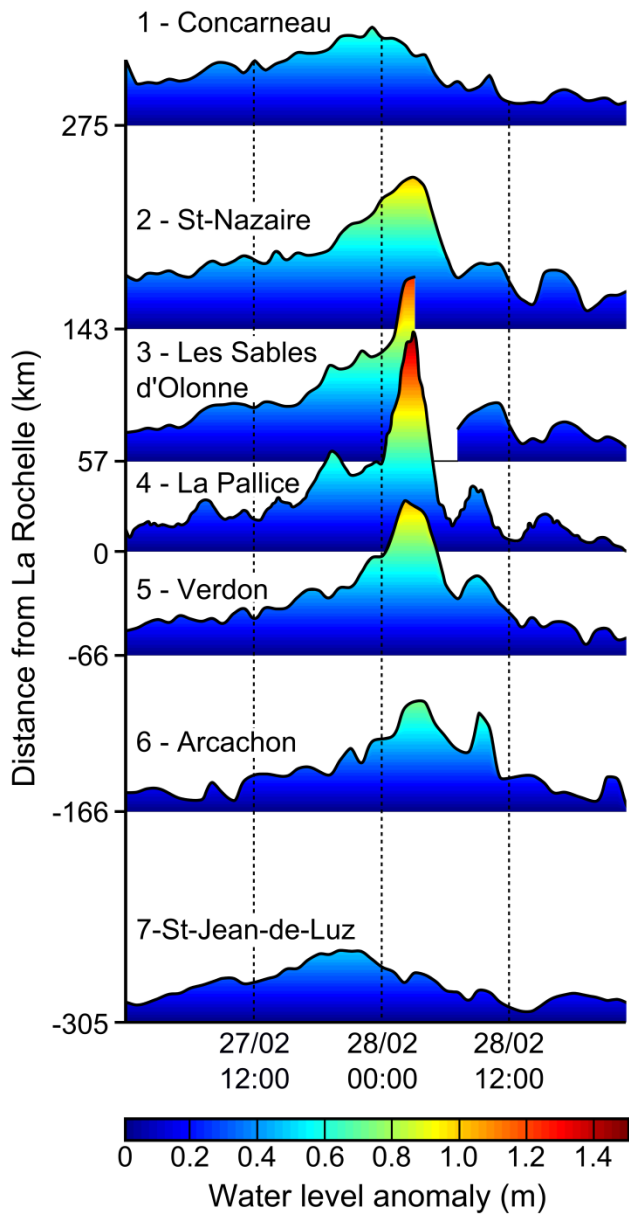
2010/02/26 00:00



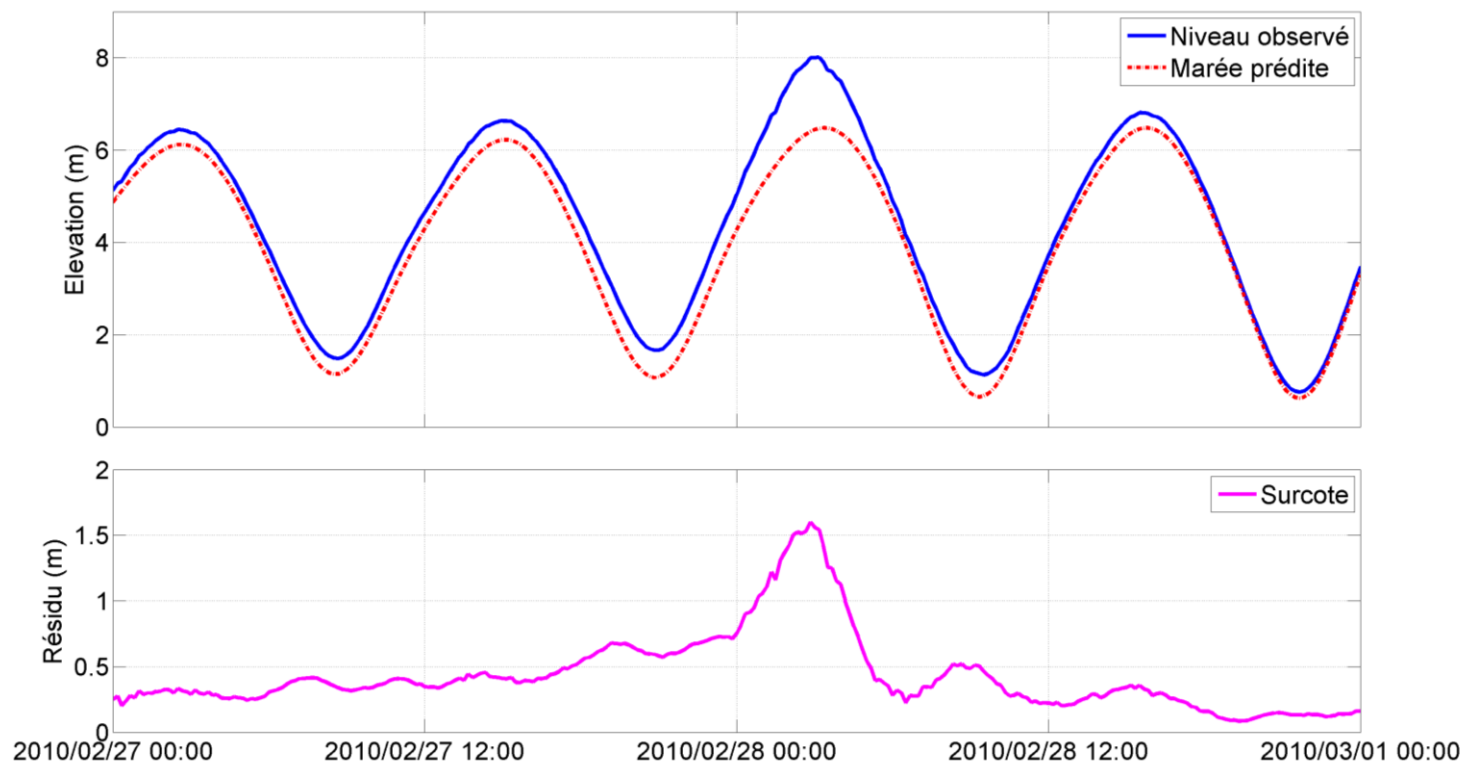
→ Pression atmosphérique minimum de 969 mbar

→ Vent moyen de l'ordre de 100 à 130 km/h dans le Golfe de Gascogne (rafales > 150 km/h mesurées sur Ré et Oléron)

La surcote associée à Xynthia



La surcote associée à Xynthia



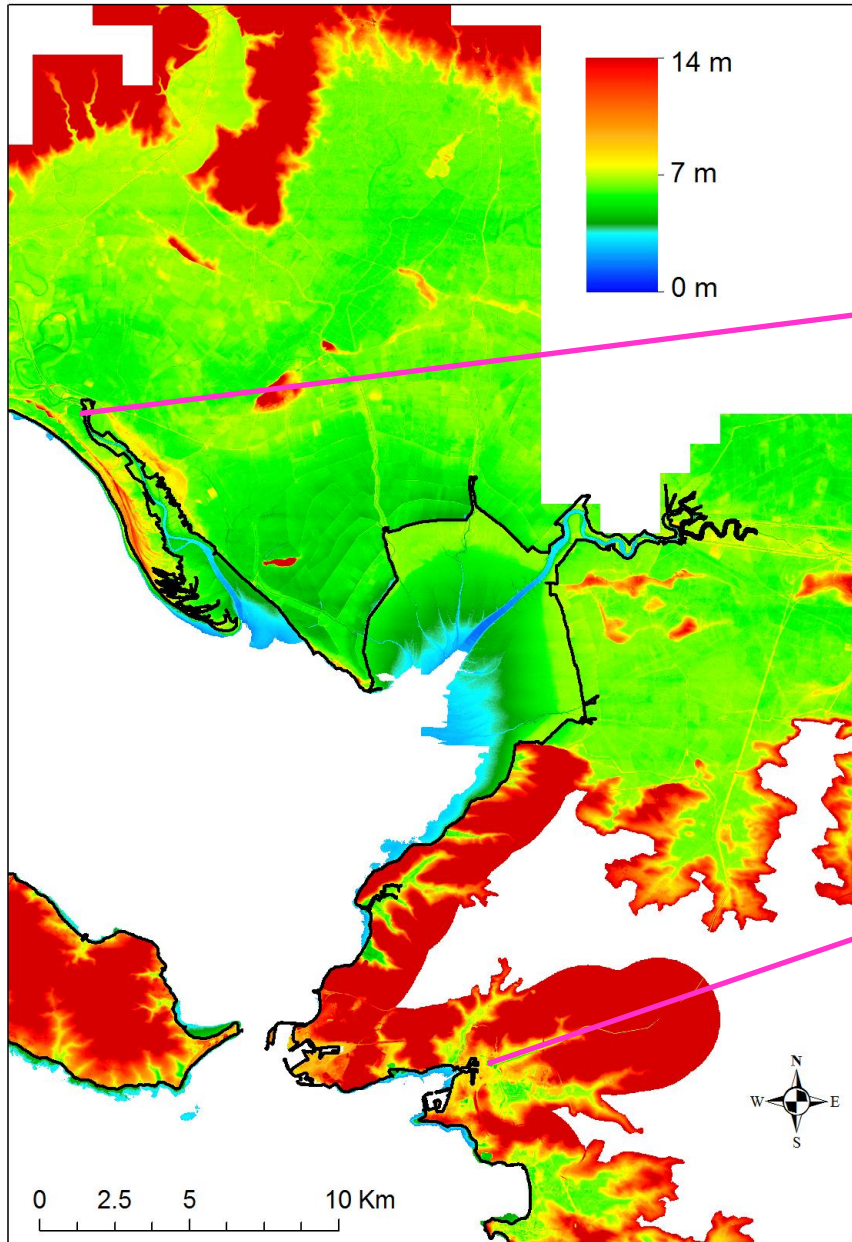
→ Xynthia a généré une surcote >1.5 m à La Rochelle

→ Cette surcote était parfaitement en phase avec une marée haute de vive eau

→ Périodes de retour associées:

- surcote : >50 ans (méthode RFA, Bernardara et al., 2011; Bardet et al., 2011)
- niveau atteint: > 100 ans (Simon, 2008)

La surcote associée à Xynthia



An aerial photograph showing a coastal town with a significant portion of its area flooded. The town is situated on a narrow strip of land, with a large body of water to the right. The flooded area is a dark green color, contrasting with the brownish water of the sea. The text 'La modélisation régionale des surcotes' is overlaid on the top part of the image in a white box with a black border.

La modélisation régionale des surcotes

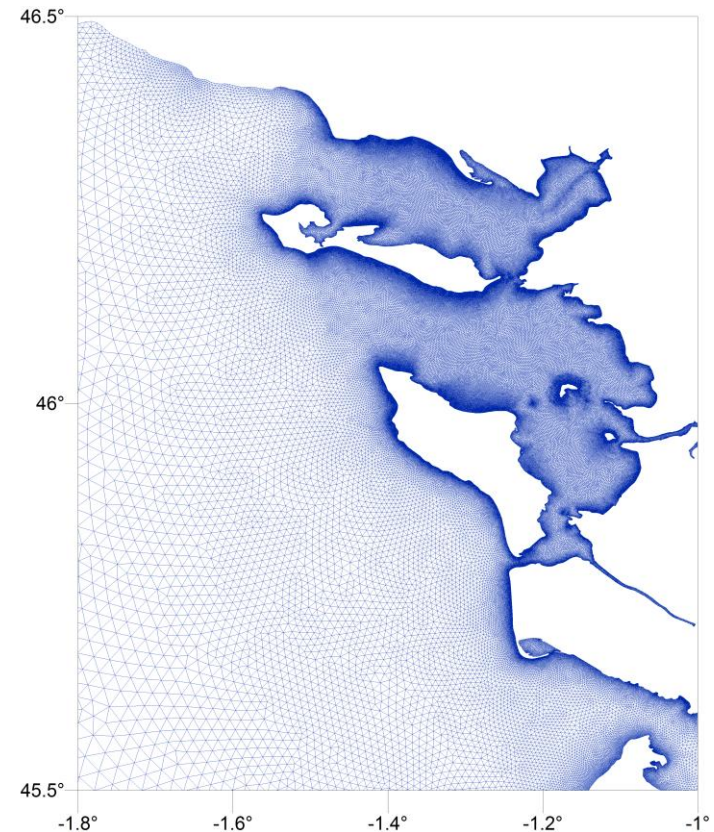
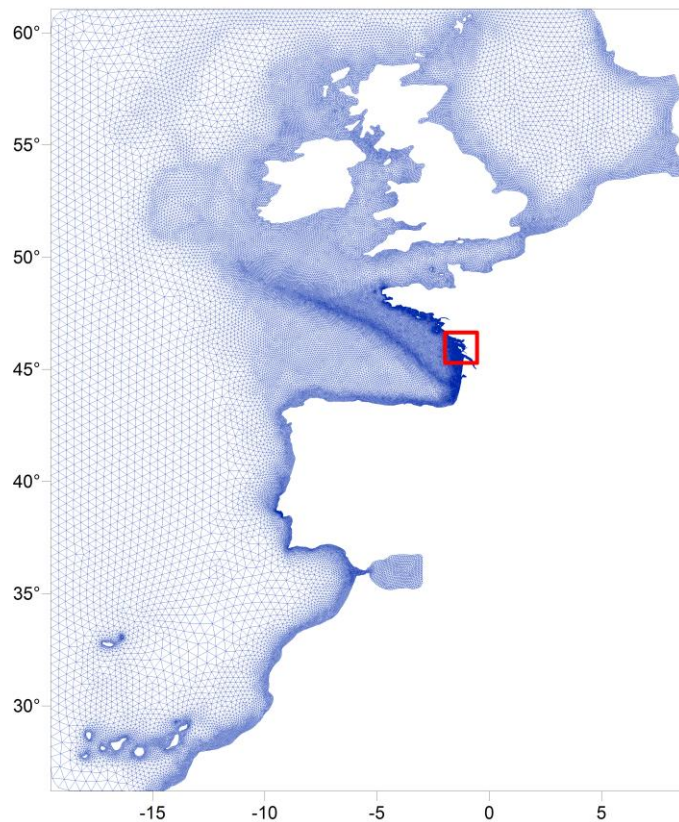
Le modèle régional de surcotes

Modèle de circulation
hydrodynamique
Code SELFE
(Zhang et Baptista, 2008)

-Hauteurs d'eau
-Courants

-Tensions de radiation
-Vitesse de frottement U^*

Modèle de vagues
Code WWMII
(Roland et al., 2008)



Le modèle de vague spectral WWMII (Roland et al., 2009)

-WWMII résout l'équation de conservation de la densité d'action (WAE) des vagues sur une grille non-structurée:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial \left(\mathcal{C}_{gx} + U N \right)}{\partial x} + \frac{\partial \left(\mathcal{C}_{gy} + V N \right)}{\partial y} + \frac{\partial (C \sigma N)}{\partial \sigma} + \frac{\partial (C \theta N)}{\partial \theta} = \frac{S}{\sigma}$$

avec $N(\sigma, \theta) = \frac{E_s(\sigma, \theta)}{\sigma}$ et $S(\sigma, \theta) = S_{\text{break}} + S_{\text{bfric}} + S_{\text{windgrowth}} + S_{\text{whitecap}}$

- WAE est résolue selon une méthode fractionnée qui comporte trois étapes (Yanenko, 1971):

1- L'advection dans l'espace géographique est résolue avec une méthode de type *Residual Distribution Scheme* (Abgrall, 2006).

2- L'advection spectrale est résolue par différences finies avec une méthode de type « Ultimate Quickest » (Leonard, 1991).

3- Les termes source sont intégrés de la même façon que dans WW3 (Tolman 2009).

Le modèle de circulation hydrodynamique

- SELFE (Zhang et Batista, OM 2008), développé pour simuler les écoulements barocliniques en 3D pour une large gamme d'échelles spatio-temporelles. Utilisé ici en mode 2DH barotropique:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \bar{\nabla} \cdot \int_{-h}^{\zeta} \bar{u} dz = 0$$

Méthode de volumes finis

$$\frac{DU}{Dt} = -fU + \alpha g \frac{\partial \psi}{\partial x} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P_A}{\partial x} - g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{\bar{\tau}_{Sx} - \bar{\tau}_{Bx}}{\rho \zeta + h} - \frac{1}{\rho \zeta + h} \cdot \left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \right)$$

$$\frac{DV}{Dt} = fV + \alpha g \frac{\partial \psi}{\partial y} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P_A}{\partial y} - g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{\bar{\tau}_{Sy} - \bar{\tau}_{By}}{\rho \zeta + h} - \frac{1}{\rho \zeta + h} \cdot \left(\frac{\partial S_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial x} \right)$$

$$\tau_s = \rho_a \cdot U_*^2$$

Traitement Lagrangien
des termes advectifs

Méthode élément finis de
type Galerkin Continue

Conditions aux frontières et forçage

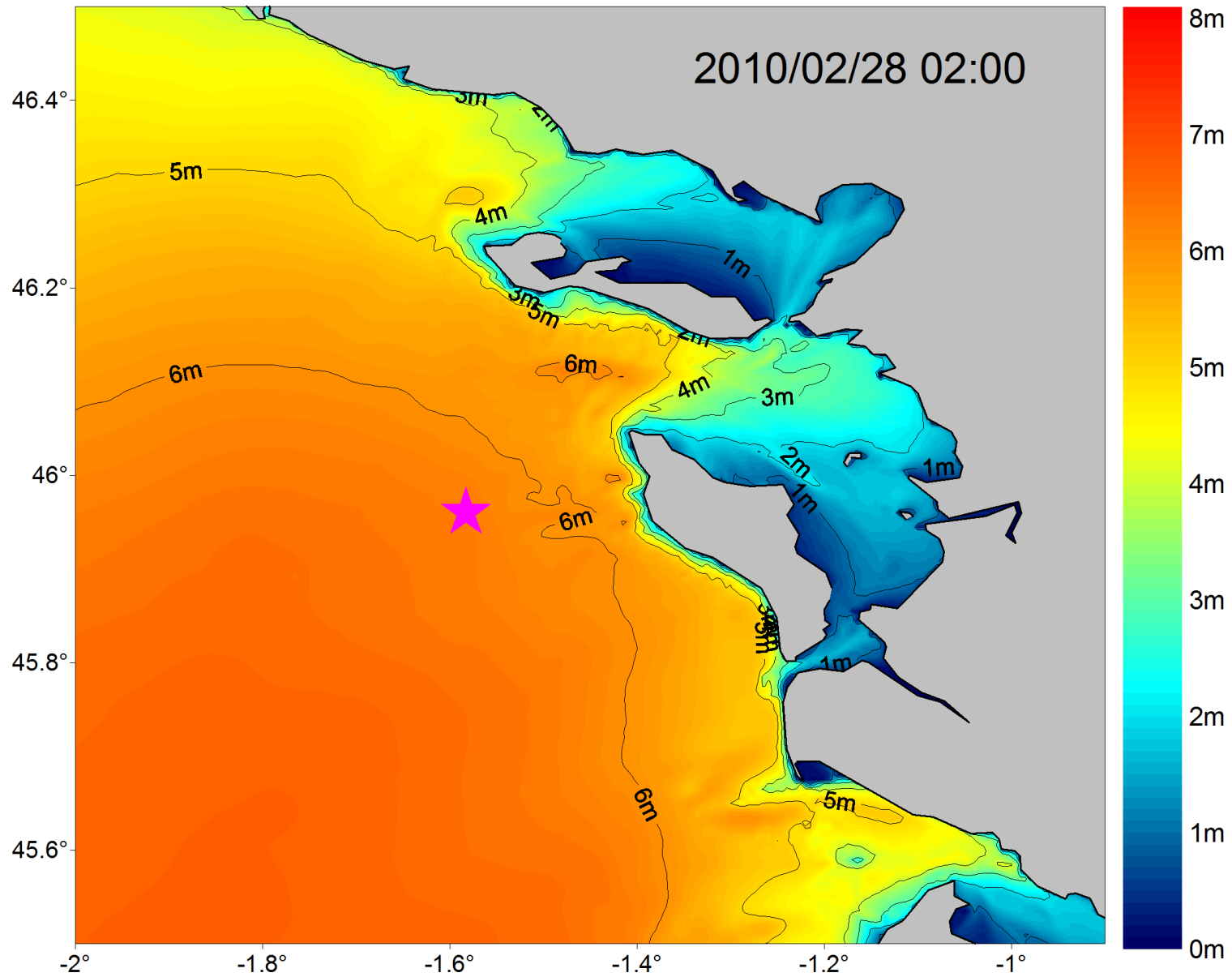
→ Hauteurs d'eau calculées à partir de 18 constituants (MM, MF, O1, K1, P1, Q1, M2, S2, N2, K2, 2N2, L2, NU2, MU2, M4, MS4, MN4, M6) provenant du modèle régional de marée TUGO 2010.

→ Même forçage atmosphérique que pour le modèle de vagues (GFS /Météo France Aladin; 0.1°/1h)

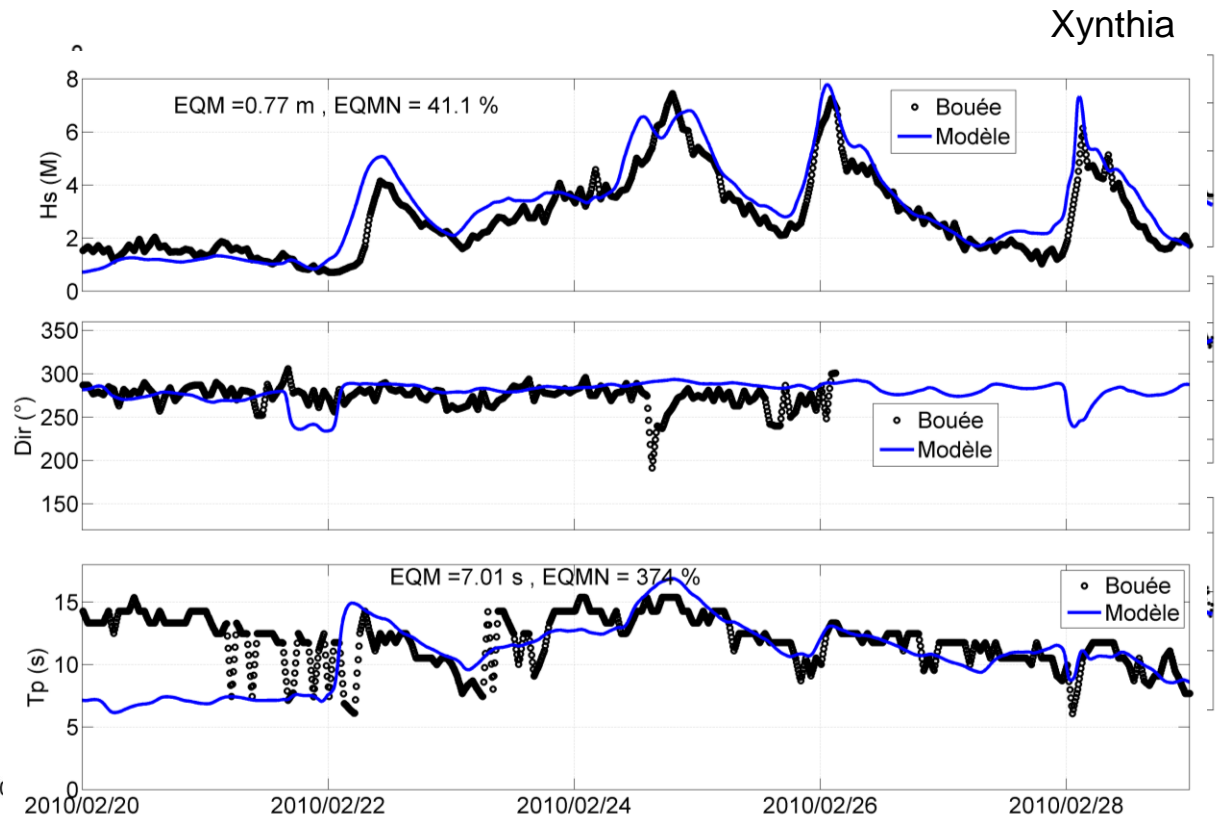
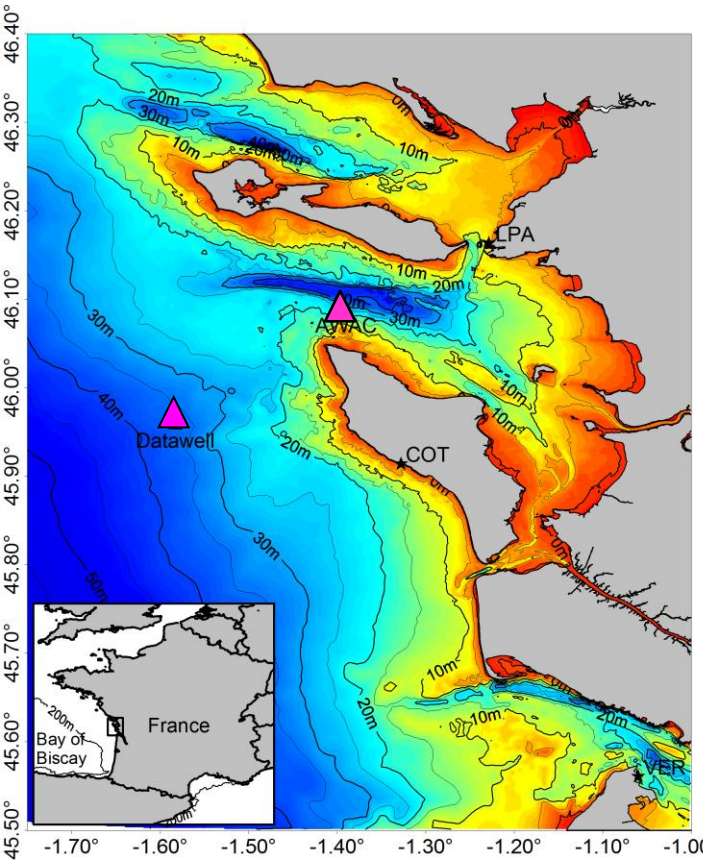
Résultats du modèle



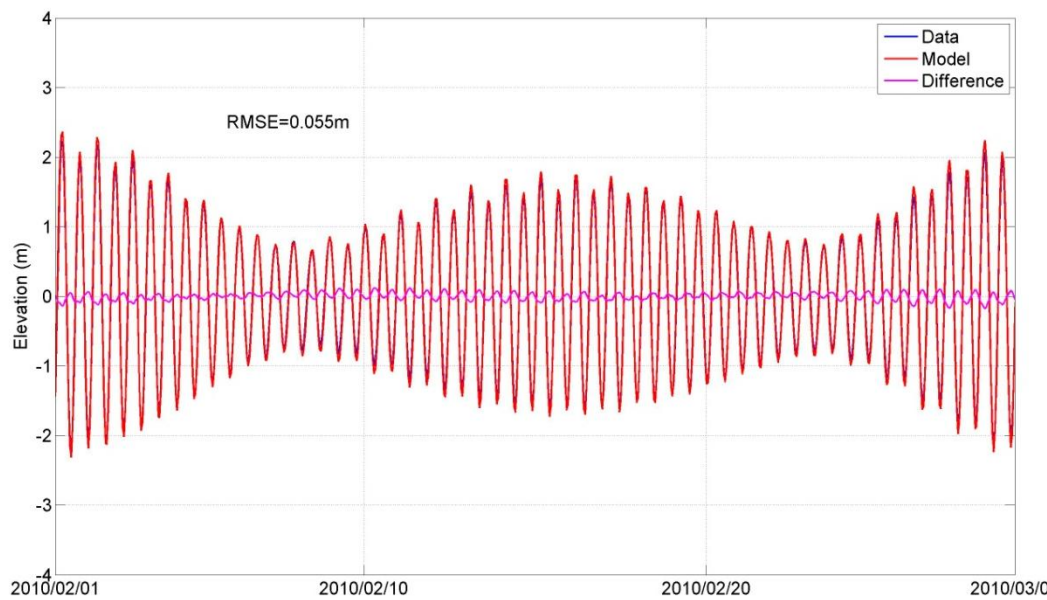
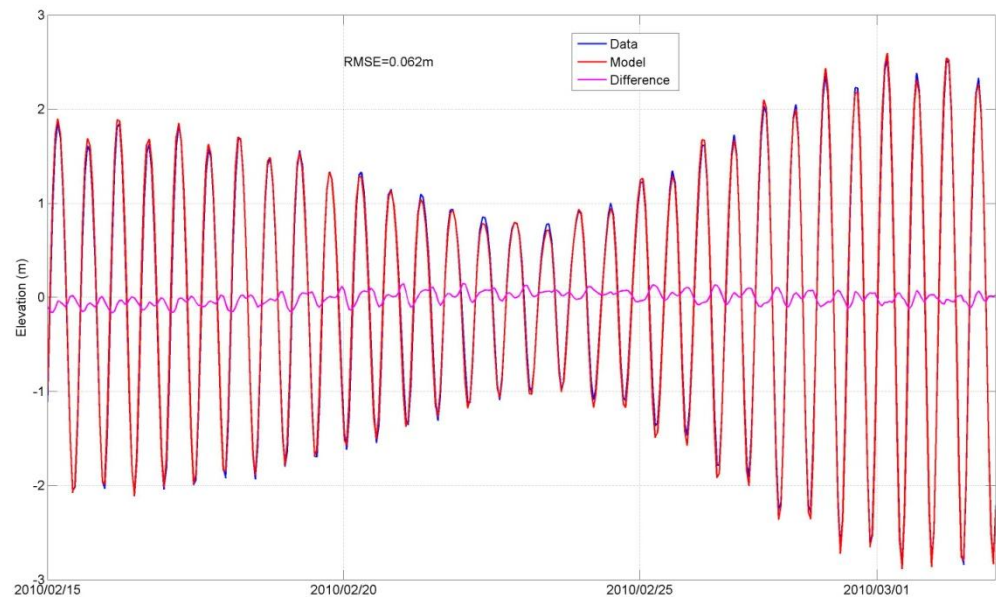
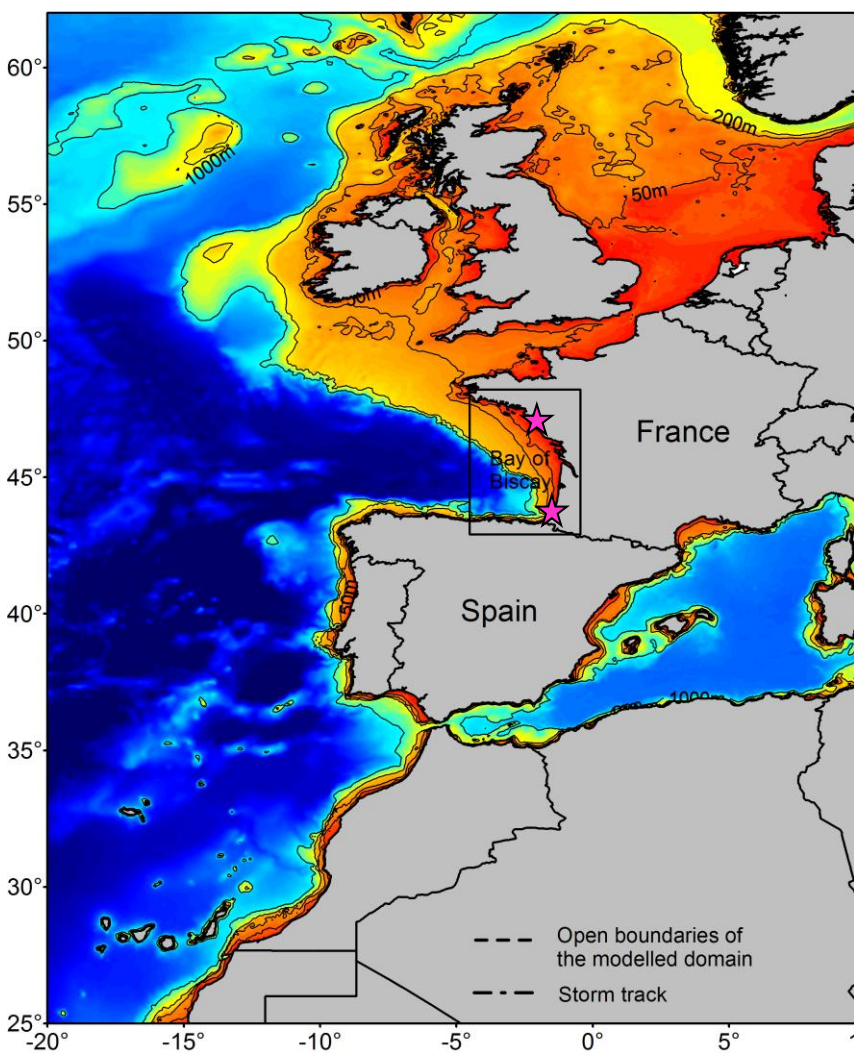
Prédictions du modèle de vagues



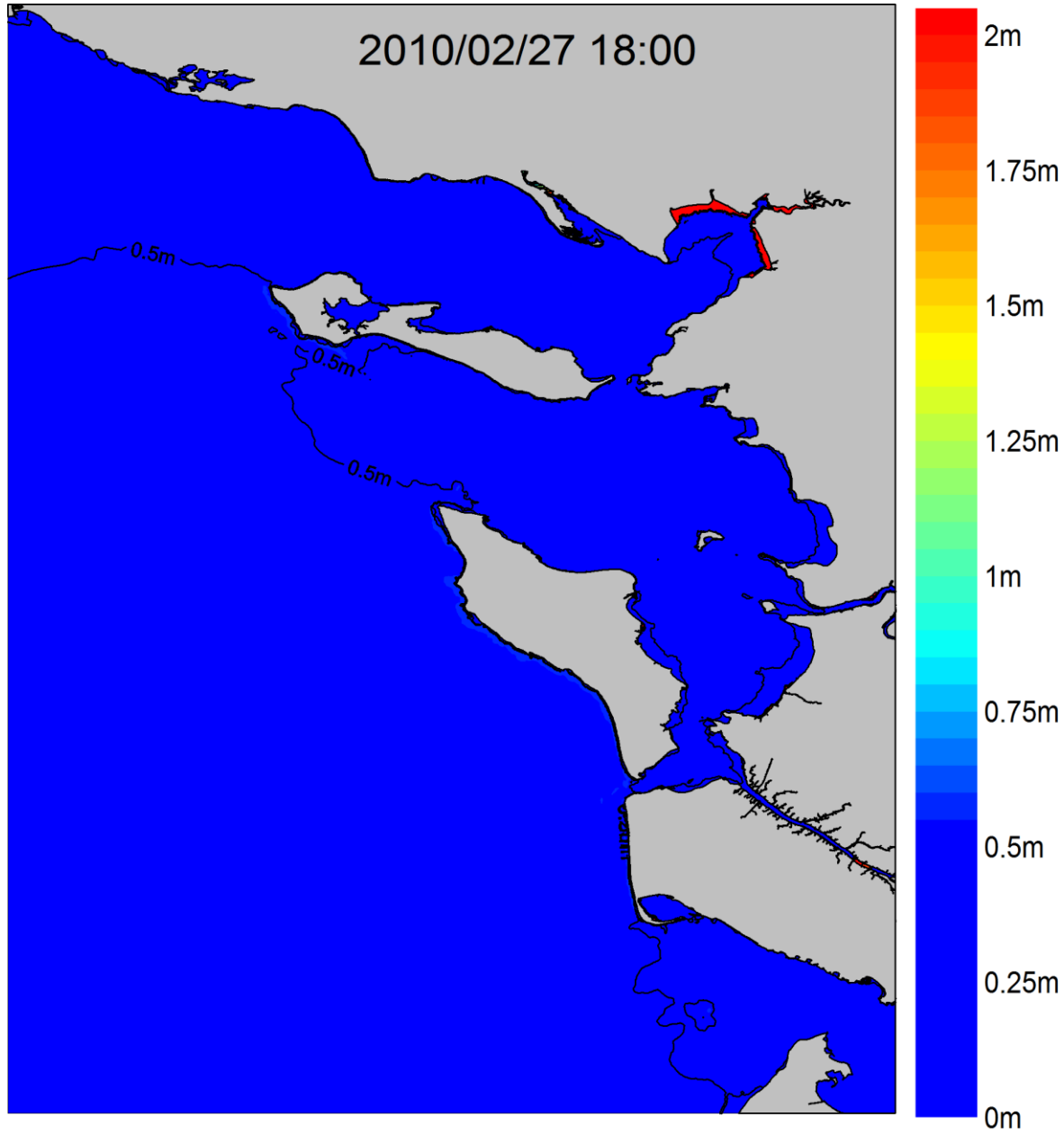
Validation du modèle de vagues



Validation du modèle de marée

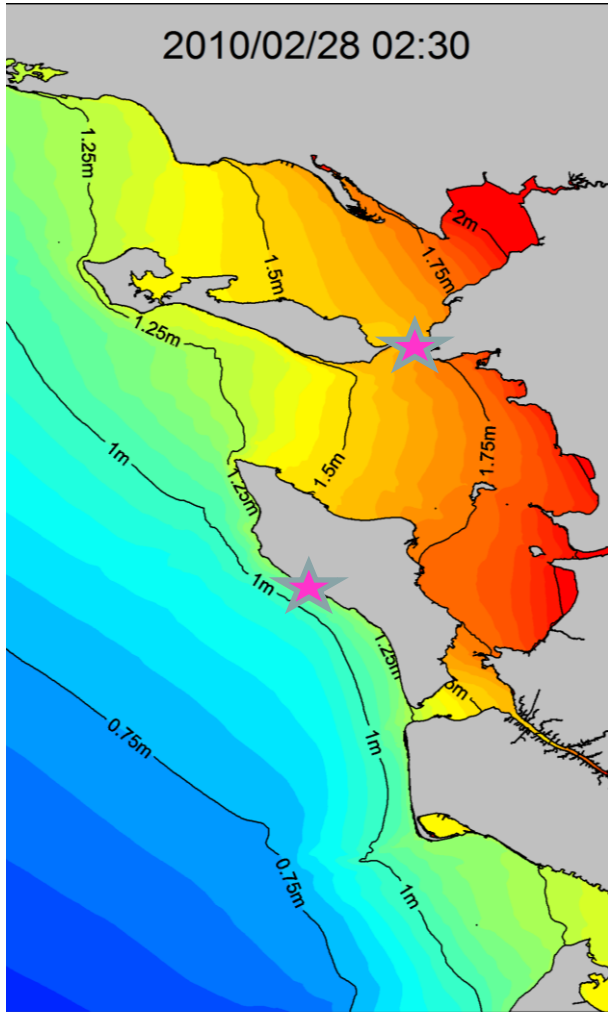


Prédiction de la surcote pendant Xynthia

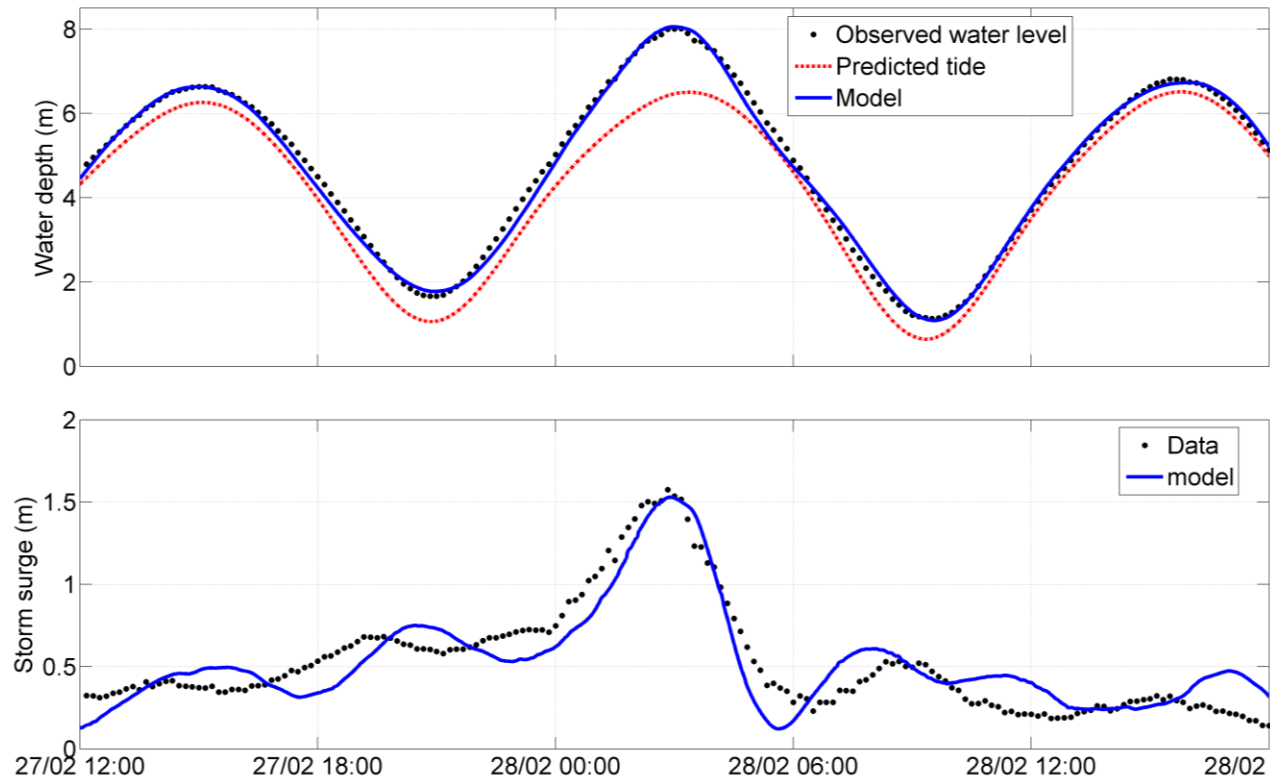


Validation des prédictions de surcote

2010/02/28 02:30



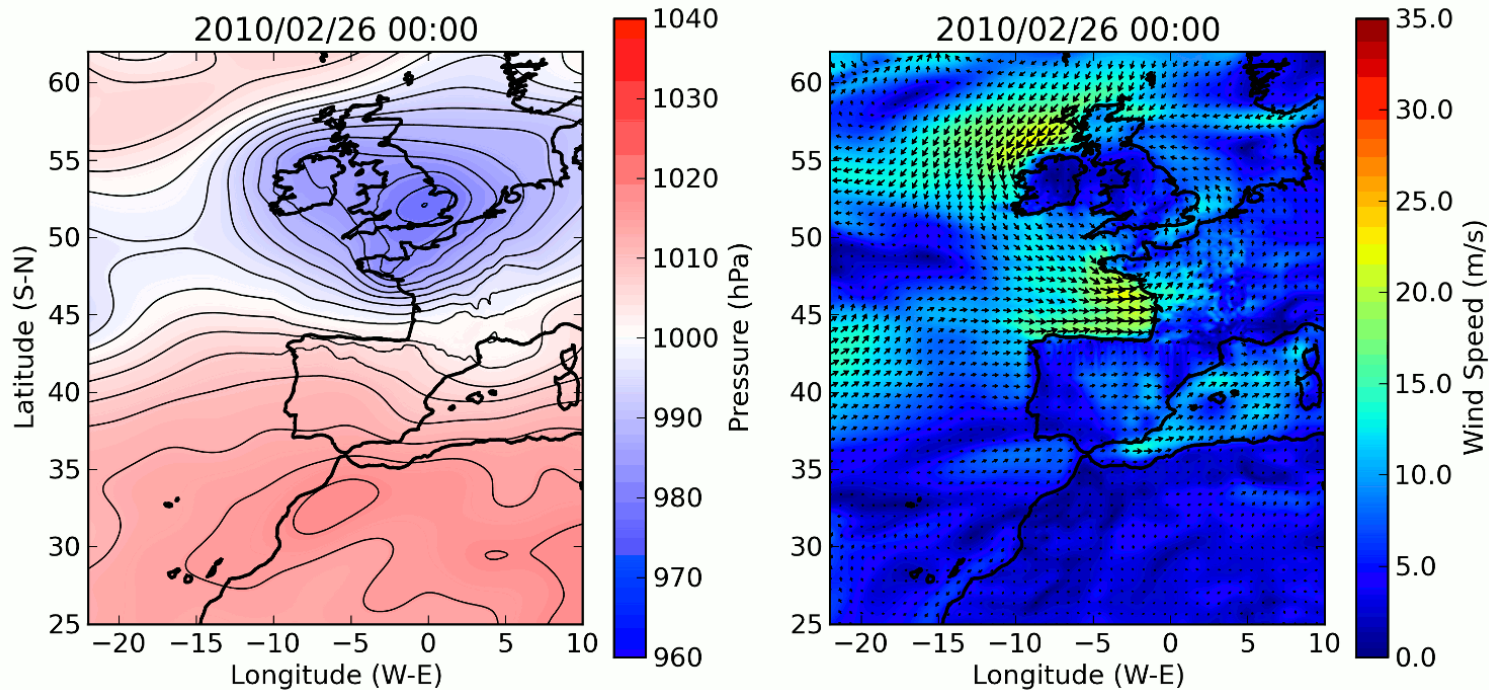
La Pallice



Analyse des processus physiques contrôlant la surcote

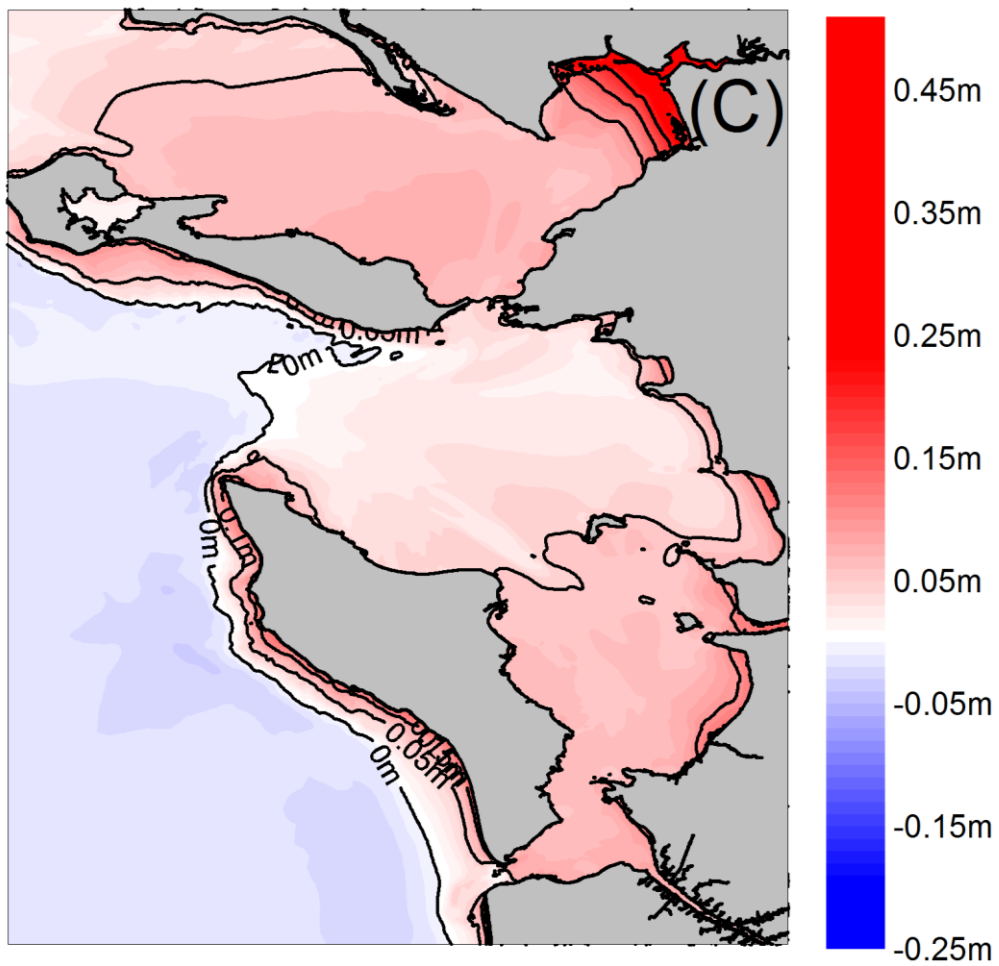
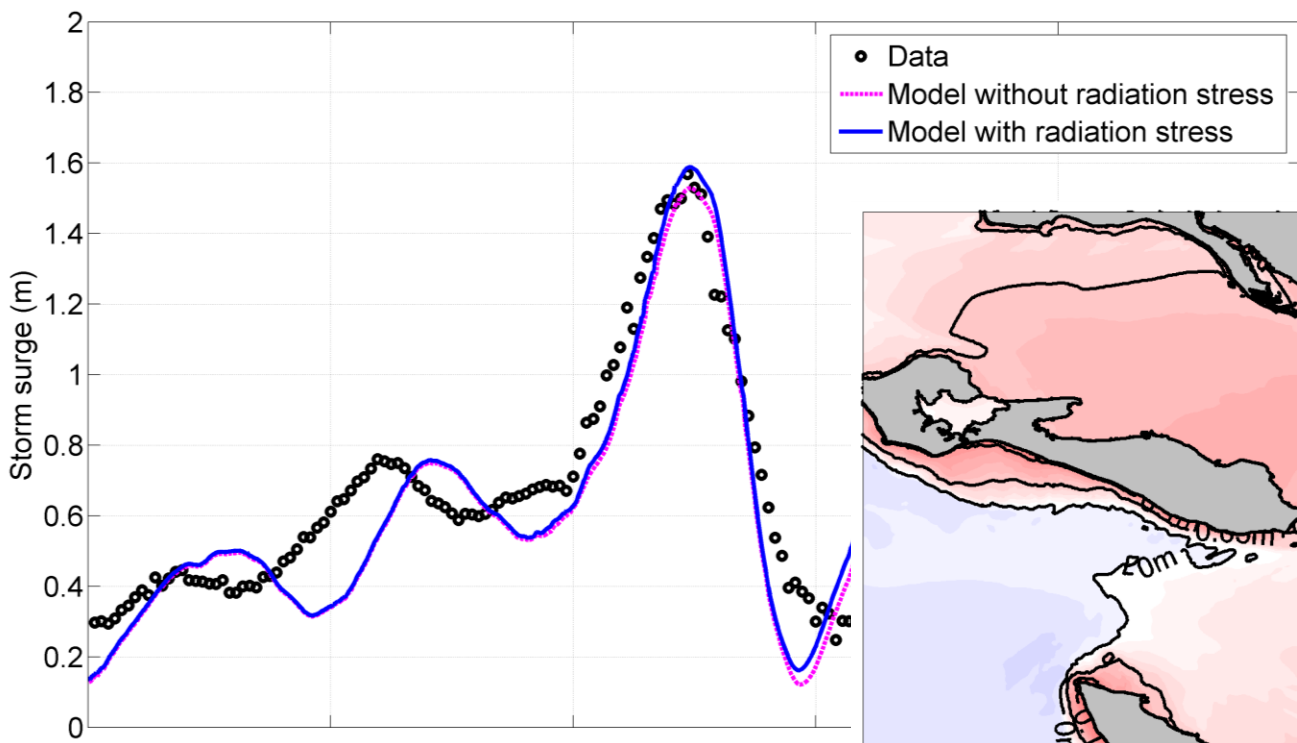


Importance des vagues : 1-impact de la rugosité de l'océan

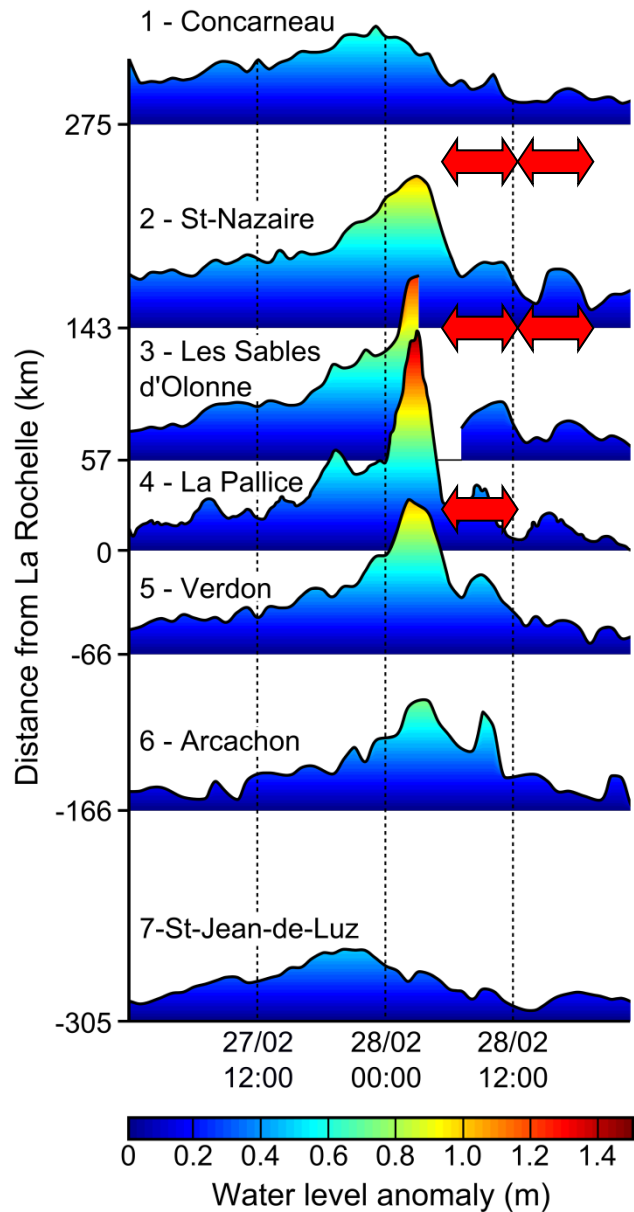


- La prise en compte des vagues augmente la surcote de 30 % (vs 10% dans la littérature)
- Les vagues très courtes ($H_s = 7\text{m}/T_p = 7\text{-}10\text{ s}$) pendant Xynthia augmentent fortement la rugosité de l'Océan
- Cet état de mer très particulier est lié à la trajectoire atypique de la tempête

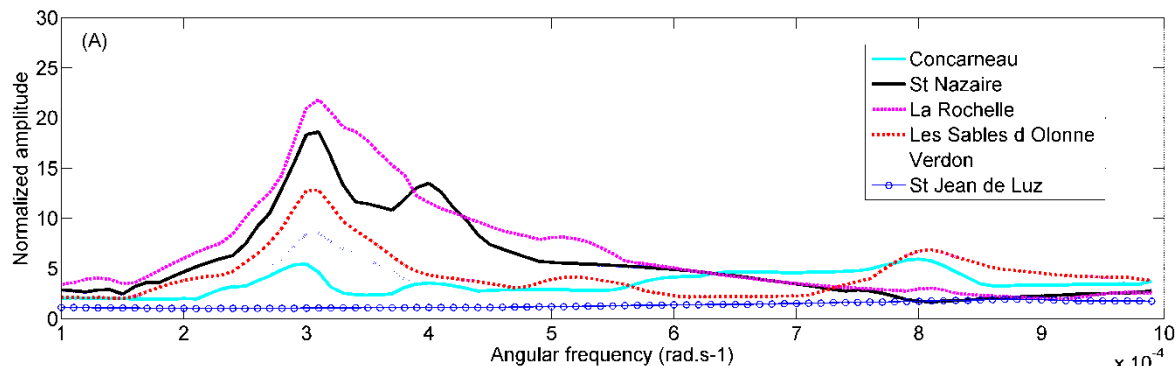
Importance des vagues : 2-Effet des tensions de radiation des vagues



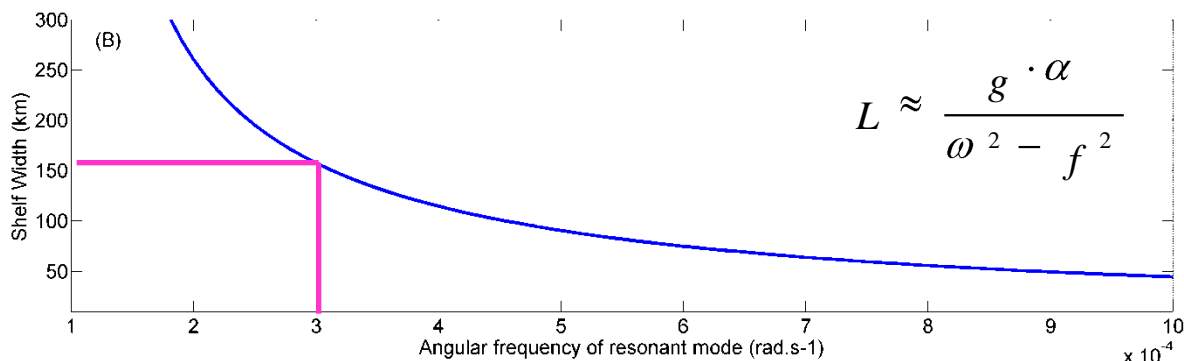
Résonance de l'onde de tempête sur le plateau continental



→ Détermination de la fréquence de résonance du plateau en forçant SELFÉ avec une fréquence observée à la station de La Pallice



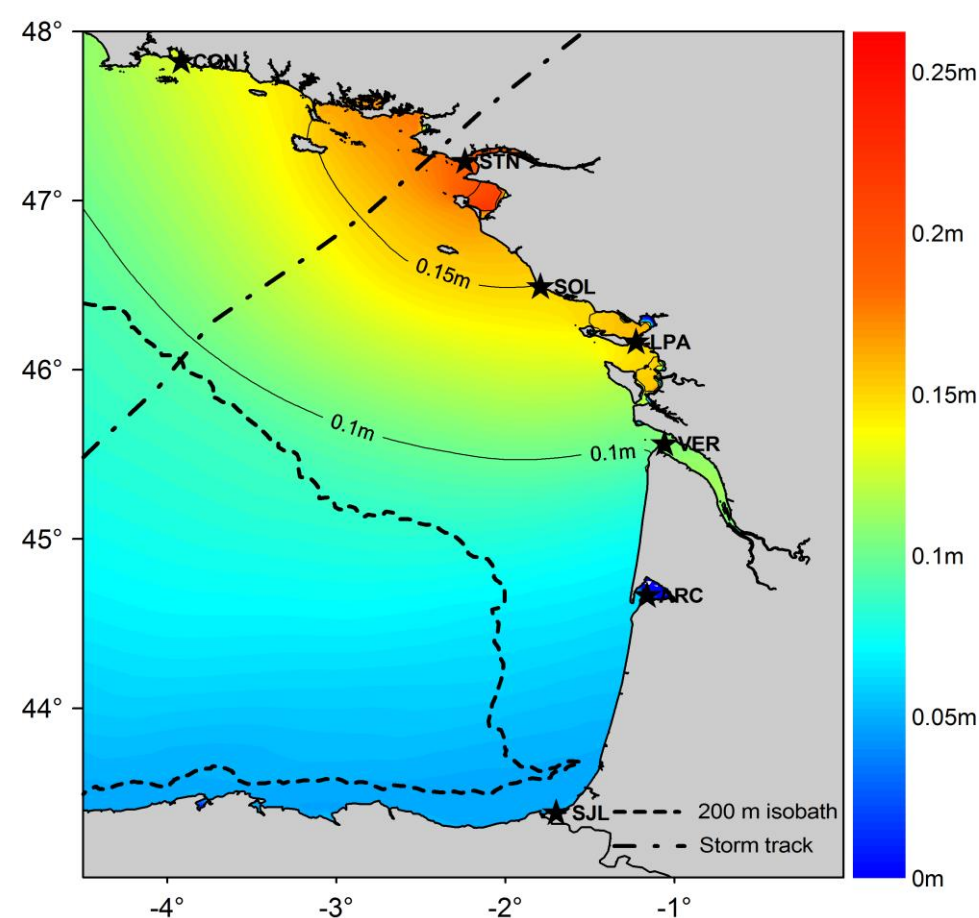
→ Application du modèle analytique de Clarke et Battisti (1981), basé sur les équations de marée linéarisées de Laplace:



→ Avec deux méthodes indépendantes, on montre que la fréquence de résonance dans la partie centrale du Golfe de Gascogne est de ~ 0.0003 rad/s (5.8 h)

Résonance de l'onde de tempête sur le plateau continental

→ Détermination de l'amplitude de l'onde résonante par analyse harmonique des résultats du modèle (ajustement par moindre carré sur la fréquence de résonance).



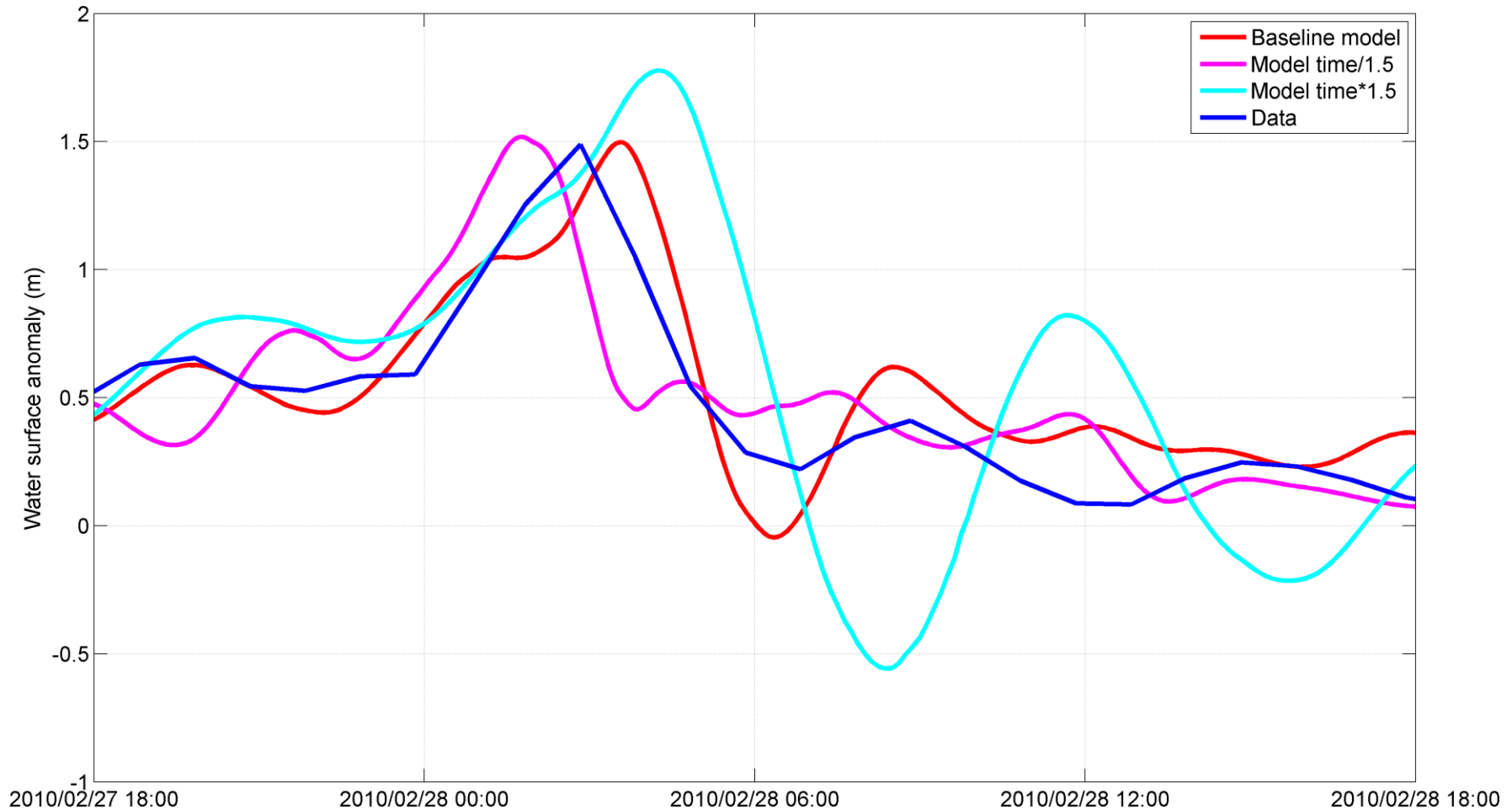
→ Un maximum est observé à l'entrée de la Loire (0.2 m) et à La Rochelle (0.15 m)

→ L'amplitude de cette onde résonante représente 10 à 20% de la surcote totale dans la partie centrale du Golfe de Gascogne.

→ Notre interprétation du phénomène est que la tempête Xynthia s'est déplacée rapidement (17 m/s), induisant une perturbation de la surface libre avec une quantité d'énergie importante à la fréquence de résonance, qui a ensuite été amplifiée par résonance sur le plateau.

Résonance de l'onde de tempête sur le plateau continental

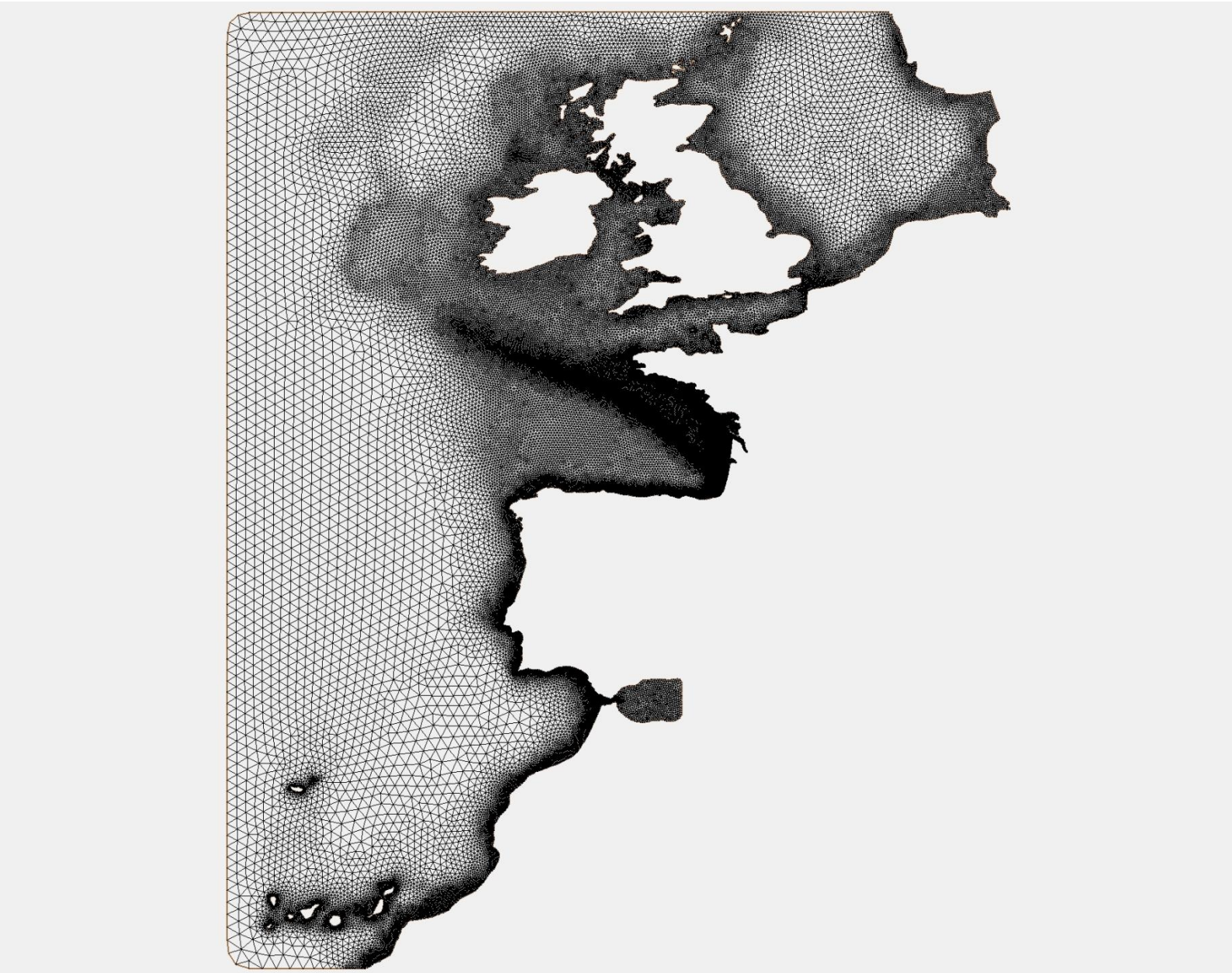
Est-ce que ça aurait pu être pire ???



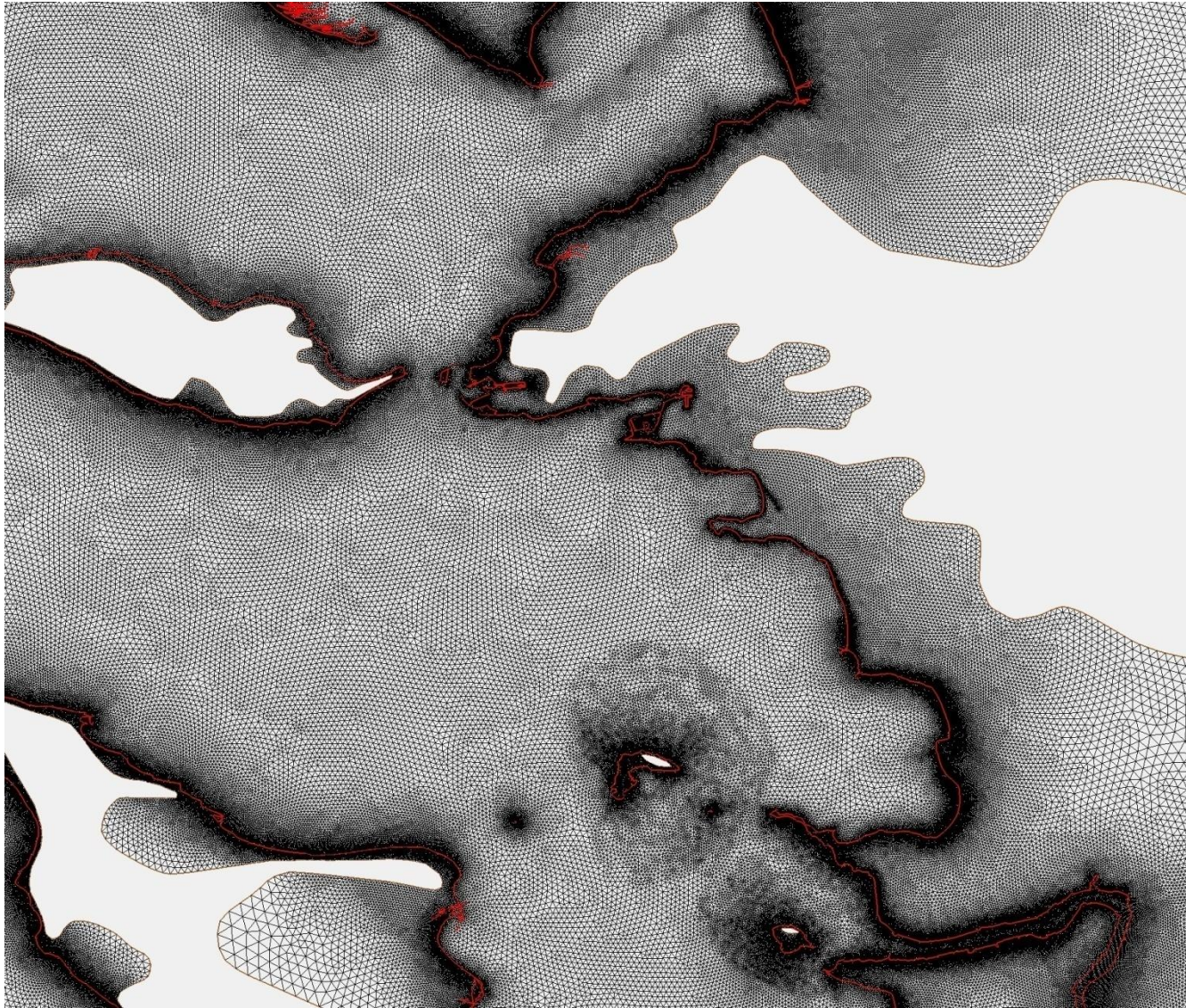
An aerial photograph showing a coastal town partially submerged in water. The water is a murky greenish-brown color, indicating flooding. The town's buildings and streets are visible, with some areas completely underwater. A road or path runs along the edge of the flooded area. The sky is overcast and grey.

**Modélisation
dynamique de la
submersion marine**

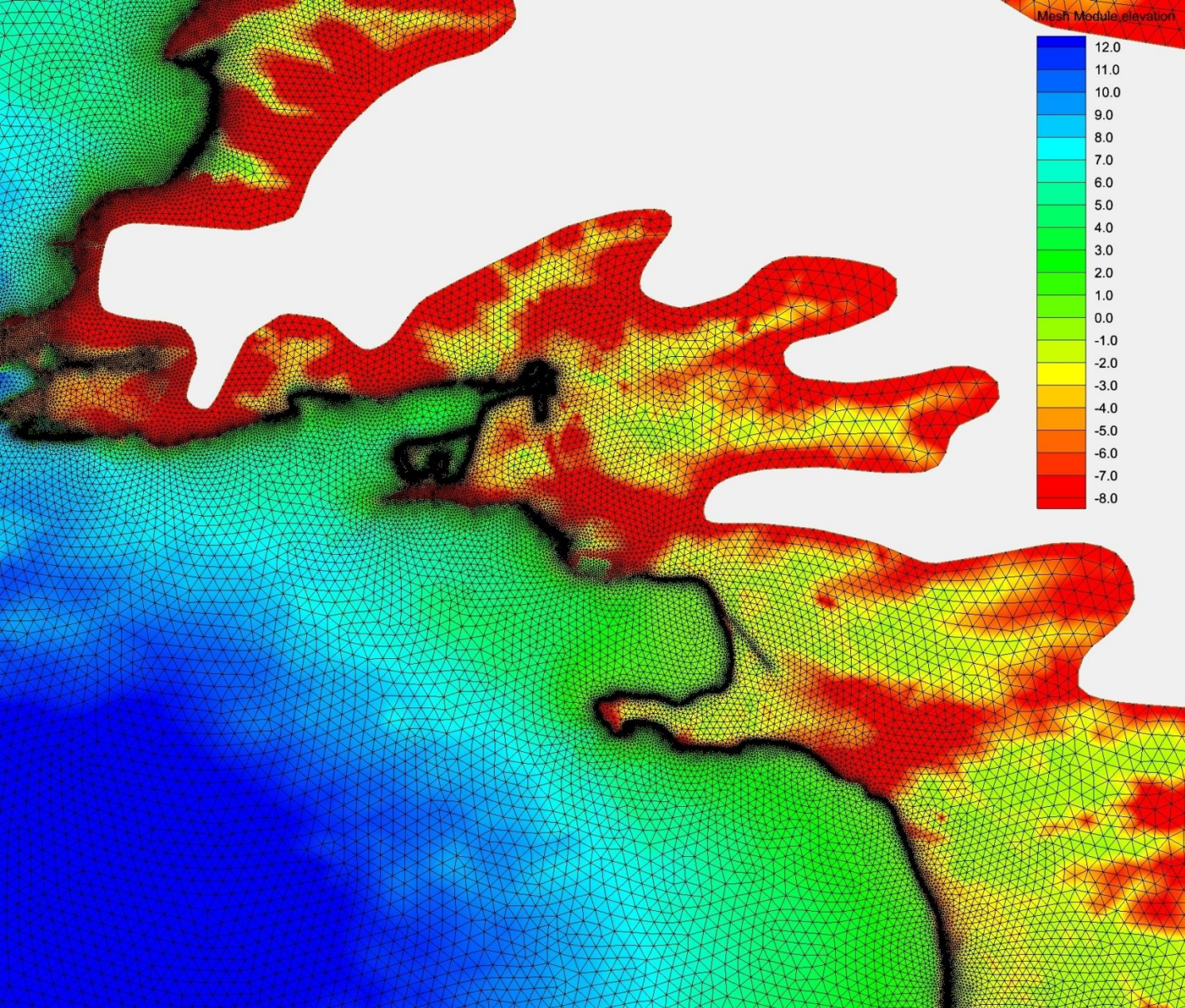
Extension de la grille de calcul vers les zones inondables



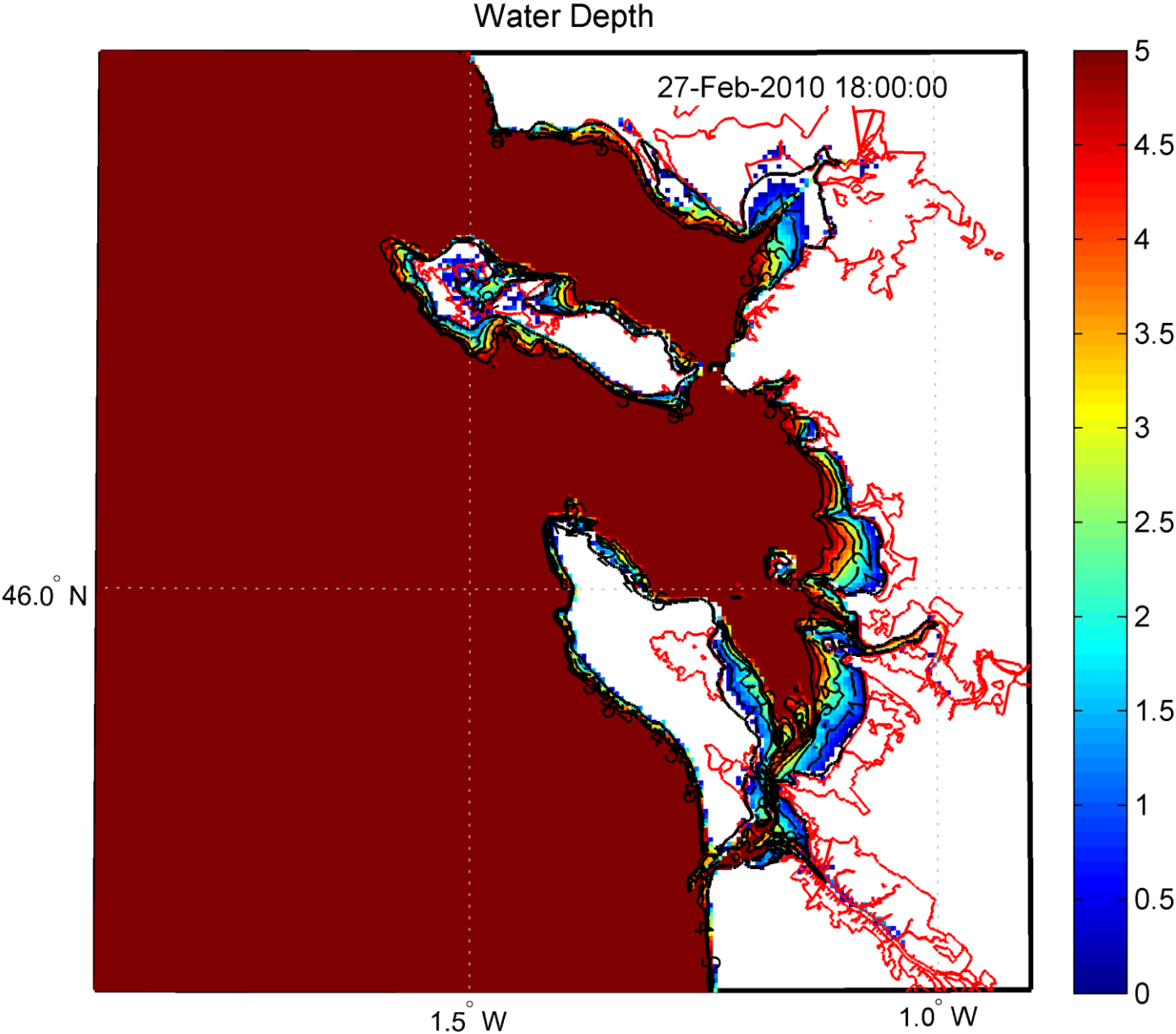
Extension de la grille de calcul vers les zones inondables



Extension de la grille de calcul vers les zones inondables



Premières simulations de l'inondation



Conclusions

- **Nous avons développé un nouveau système de modélisation numérique des surcotes pour l'Atlantique NE, qui produit de très bonnes prédictions de vagues, de marées et de surcote.**
- **Les résultats numériques ont montré que la surcote résultait principalement d'un transport d'Ekman (vent SW) amplifié par la présence de vagues jeunes.**
- **Des simulations sont en cours avec les vents du centre européen ECMWF et devraient améliorer nos prédictions de vagues et de surcote.**
- **Les premières simulations de submersions sont très encourageantes et laissent penser que nous allons réussir à reproduire précisément la submersion marine pendant Xynthia sur l'ensemble de la région.**

An aerial photograph of a coastal region. The left side shows a large, deep blue body of water. The right side shows a city grid with brown buildings and green spaces. A large, light blue area in the center represents a bay or estuary. A semi-transparent box with a black border is overlaid at the top, containing the text 'Merci pour votre attention!'. Another semi-transparent box with a black border is overlaid at the bottom left, containing a list of acknowledgments.

***Merci pour votre
attention!***

Remerciements:

- Le CG 17
- Région Poitou Charente
- Fundação para a Ciencia e a Tecnologia
- CMOP (Portland)
- Aron Roland (Univ. Darmstadt, Allemagne)
- S.H.O.M.
- C.E.T.M.E.F.
- UMR LEGOS
- Météo France

Sujet de thèse dans notre équipe pour la rentrée prochaine!

Titre du sujet :

Morphodynamique séculaire et architecture à très haute résolution des dépôts estuariens.

Description du sujet :

La sismique à très haute résolution permettent d'étudier avec beaucoup de détails l'architecture des dépôts sédimentaires. Les dépôts estuariens et les évolutions morphologiques des estuaires offrent la possibilité d'enregistrer pour les derniers siècles des changements environnementaux à haute fréquence, comme les variations du niveau marin, les conditions climatiques, les conditions d'agitation, les impacts anthropiques. Mais les interprétations de ces enregistrements stratigraphiques sont limitées quand des forçages environnementaux différents agissent de concert et/ou produisent des effets proches. Ceci est particulièrement problématique pour les impacts anthropiques et les changements climatiques récents. De fait, la détermination des processus physiques qui contrôlent l'architecture des dépôts demeure souvent spéculative. Afin de mieux comprendre les processus physiques qui contrôlent l'évolution des formes côtières et leur enregistrement stratigraphique, nous proposons de revisiter les interprétations de la base de données acquise dans notre laboratoire depuis plus d'une dizaine d'année, grâce à la modélisation morphodynamique. Le système de modélisation morphodynamique utilisé à L'UMR 7266 LIENSs, qui repose sur le code de calcul SELFE, devra être amélioré afin de pouvoir réaliser des prédictions morphologiques sur des échelles décennale à séculaire. Ce système de modélisation sera forcé grâce à des modèles régionaux de vague et de marée, pour lesquels des simulations rétrospectives ont déjà été réalisées sur la période 1871-2012. Une fois les évolutions bathymétriques historiques reproduites par le modèle, des profils stratigraphiques synthétiques seront réalisés. La modélisation numérique permettra de tester les différents forçages ainsi que leurs contributions respectives et de faire un bond en avant dans l'interprétation sismique. L'approche proposée permettra également de déterminer si les évolutions morphologiques observées sont auto-cycliques (phénomène de rétroaction s'opérant sous un forçage externe constant) ou si elles résultent d'un changement de forçage externe (climat, homme, niveau marin, etc...).